



Emissions de CO₂ i creixement econòmic a Andorra, 1990-2010. Una primera anàlisi en el marc de la corba ambiental de Kuznets¹

- 15 de maig del 2012 a les 20.00 h
- Sala d'actes del Comú d'Escaldes-Engordany, Escaldes-Engordany



Marc Galabert i Macià²

Doctorand en història econòmica a la UB

Marc Pons i Pons³

*Investigador postdoc de l'OBSA i el Sustainability
Measuring and Modelling Lab UPC*

▲ Currículum

Marc Galabert i Macià, llicenciat en administració i direcció d'empreses per la Universitat de Barcelona. Màster interuniversitari en història econòmica (UB-UAB-UZ). Actualment, estudiant de doctorat en història econòmica, amb una tesi sobre el desenvolupament econòmic d'Andorra al llarg del segle xx, i professor de matemàtiques a l'Escola Andorrana de Segona Ensenyança d'Encamp. Interessat principalment en les estratègies de desenvolupament econòmic dels territoris de muntanya, la història quantitativa, la relació entre l'economia i el medi ambient, i les causes de l'avantatge competitiu del sector bancari andorrà.

▲ Currículum

Marc Pons i Pons, enginyer de telecomunicacions per la Universitat Politècnica de Catalunya. Màster de tècnic en medi ambient per la Universitat de Barcelona i màster en sostenibilitat per la Universitat Politècnica de Catalunya. Postgraduat en impactes del canvi climàtic a la Universitat de Harvard.

Actualment fa la tesi doctoral sobre els impactes del canvi climàtic a Andorra i les possibles estratègies d'adaptació, part de la qual s'ha realitzat durant una estada de recerca al departament de Geografia de la Universitat McGill de Montreal, Quebec.

Paraules clau: canvi climàtic, gasos efecte hivernacle, corba ambiental de Kuznets, desenvolupament sostenible, Andorra.

1. Introducció

El 1972 la publicació de *The Limits to Growth* (Meadows *et al.* 1972), informe encarregat al Massachusetts Institute of Technology per part del Club de Roma, va situar en un primer pla el debat sobre la relació entre creixement econòmic, deteriorament ambiental i sostenibilitat. L'informe arribava a la conclusió que el model de creixement econòmic vigent, associat a un increment exponencial de la població, la industrialització, la contaminació i la producció d'aliments no era sostenible a causa de la sobreexplotació d'uns recursos naturals limitats i no renovables en l'actual ritme de consum. A partir d'aquell moment, el vincle entre creixement econòmic i degradació del medi ambient ha donat nombrosos estudis acadèmics centrats en un debat que intenta respondre les següents preguntes: Quina és la relació entre el creixement econòmic i la degradació ambiental? Pot un revertir l'altre?

El principal argument dels partidaris del no (cas pessimista) és que el creixement econòmic exerceix un efecte a escala sobre el medi ambient i que majors augments de producció posen en perill l'esquema de producció i consum actual i tenen com a conseqüència la superació de la capacitat d'assimilació i regeneració del medi. La visió contraposada (el cas optimista) planteja l'existència d'una relació positiva entre creixement econòmic i qualitat ambiental. Aquest nou argument reconcilia la recerca del creixement econòmic i la sostenibilitat del medi ambient a través del concepte de la corba ambiental de Kuznets (CKA). La hipòtesi de la CKA parteix del supòsit que féu Kuznets (1955) en relació amb el vincle entre creixement econòmic i desigualtat. En una primera etapa de creixement econòmic, davant d'augments de renda s'observaria una tendència a l'augment de la desigualtat fins a un punt de no-retorn, on increments de renda suposarien disminucions en el patró de la desigualtat. La relació quedaria esquematitzada en la forma d'una U invertida. Durant la dècada de 1990, de la mà de Grossman i Krueger (1991) la corba de Kuznets prengué un nou enfocament. El vincle entre creixement econòmic i degradació ambiental mostraria un patró semblant al descrit per Kuznets. La CKA evidenciarà la relació entre la mesura de la qualitat ambiental i el creixement econòmic sota una forma d'U invertida on, a partir d'un punt crític, el creixement econòmic permetria revertir el ritme de degradació ambiental. Des de llavors, una llarga bibliografia busca evidències de la CKA posant en relació el creixement de la renda i l'emissió de diferents contaminants.⁴ Les evidències més sòlides s'han obtingut en la pol·lució atmosfèrica (Panayotou, 1993a; 1993b; Grossman i Krueger, 1995; Cole *et al.*, 1997) mentre que en la contaminació de les aigües o altres indicadors ambientals l'existència d'una CKA seria més dèbil (Grossman i Krueger, 1995; Shafik, 1994).

Des d'una perspectiva teòrica hi ha diversos factors que busquen justificar la CKA. L'elasticitat-renda de la demanda ambiental argumenta que la qualitat ambiental és un bé de luxe i que, donat un determinat nivell de renda, els individus valoren destinar una porció més gran dels seus ingressos a patrons de consum més sostenibles. D'altra banda, s'ha fonamentat el fet que la CKA sigui el reflex gràfic del pas d'una economia de base agrària a una economia industrial contaminant per acabar transitant a una economia de serveis neta recolzada pel fet que el creixement econòmic, en buscar augments d'eficiència, engega un procés de substitució

d'energies brutes per energies netes. Aquesta hipòtesi no tindria en compte els diferents estadis de desenvolupament entre països. Implica que la reducció en la pressió ambiental observada en economies desenvolupades pugui amagar la substitució de la producció domèstica per la importació de manufactures des de països menys desenvolupats. Altres explicacions s'han format a partir de l'augment de la consciència ambiental i la subsegüent implementació de polítiques econòmiques destinades a la mitigació de la degradació ambiental.

Un clar exemple del vincle entre creixement econòmic i deteriorament ambiental és l'impacte que les emissions de gasos d'efecte hivernacle associades a l'activitat econòmica estan tenint sobre la variació del sistema climàtic global.

Al llarg de la història, el planeta Terra ha experimentat de forma periòdica canvis climàtics d'origen natural, ja sigui per factors exògens, com poden ser els canvis en l'òrbita terrestre i els canvis en els cicles solars, o per factors endògens, com les erupcions volcàniques i els canvis en els corrents oceànics. Això no obstant, durant el darrer segle s'ha detectat un escalfament global, el ritme del qual no troba cap precedent en els registres d'evolució de la temperatura terrestre dels darrers mil·lennis. En els darrers anys, la comunitat científica ha arribat a la conclusió que, de forma inequívoca, aquest canvi climàtic no es pot explicar només amb els factors naturals, sinó que les emissions de gasos d'efecte hivernacle, com el diòxid de carboni, derivats de l'activitat econòmica en són el principal responsable i que per tant, es tracta d'un canvi climàtic d'origen antropogènic (IPCC, 2013). En aquest context, el 1988 l'Organització Mundial de Meteorologia (WMO) i el Programa de les Nacions Unides pel Medi Ambient (PNUD) van crear el Panel intergovernamental sobre el canvi climàtic (IPCC) amb l'objectiu de traslladar als governs mundials tot el coneixement científic referent al canvi climàtic. La tasca principal de l'IPCC era preparar informes periòdics de l'estat del coneixement sobre la ciència del canvi climàtic, els seus impactes tant físics i biològics com socioeconòmics, i les possibles estratègies de mitigació i adaptació per fer-hi front. Com a resultat de la tasca de l'IPCC, el 1992, durant la Cimera de la Terra organitzada a Rio de Janeiro per les Nacions Unides es va aconseguir signar un tractat internacional amb l'objectiu de reduir les emissions i establir les concentracions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera per tal de minimitzar l'escalfament global del sistema climàtic, adaptar-s'hi i fer front als possibles impactes que se'n puguin derivar. Fruit d'aquest conveni, es va crear el Conveni marc de les Nacions Unides per la lluita contra el canvi climàtic (UNFCCC), del qual uns anys més tard, el 1997, va sorgir el Protocol de Kyoto, un acord internacional que tenia com a objectiu el compromís per part dels països industrialitzats signataris de reduir, amb vista a l'any 2012 i respecte dels valors de l'any 1990, les emissions de sis gasos d'efecte hivernacle.

2. Objectius

Una de les finalitats del Conveni marc de les Nacions Unides per la lluita contra el canvi climàtic, d'obligat compliment pels països signataris, és la realització d'un inventari nacional d'emissions de gasos d'efecte hivernacle des de l'any 1990. La recent incorporació i signatura d'Andorra al conveni, l'any 2011, suposa per al Principat el requisit de presentació dels seus càlculs. L'any 2013 es va publicar el primer inventari oficial d'emissions de gasos efecte hivernacle d'Andorra, corresponent als anys 1990, 1995, 2000, 2010 i 2011. Aquest estudi s'ha

realitzat seguint les bases de l'IPCC per a l'elaboració d'inventaris nacionals d'emissions de gasos d'efecte d'hivernacle.⁵ No obstant això, les especificitats de l'estructura socioeconòmica del país fan que en alguns punts les normes metodològiques de l'IPCC no permetin capturar particularitats del model andorrà.⁶

En aquest context, el principal objectiu d'aquesta recerca és l'estimació de les emissions de diòxid de carboni (CO₂) andorranes per al període 1990-2010.⁷ En el pla metodològic es proposa una adaptació de les directrius de l'IPCC a les especificitats de microestats com Andorra. No es pretén en cap cas elaborar un inventari nacional complet dels gasos d'efecte hivernacle sinó construir un indicador que capti l'evolució de l'impacte ambiental del model econòmic d'Andorra. Per últim, aquesta recerca analitza la relació existent entre l'evolució de les emissions de CO₂ i el creixement econòmic d'Andorra per al mateix període. La intenció d'aquest apartat és avaluar i entendre millor, en el marc de la teoria de la corba ambiental de Kuznets (CKA), quin és el vincle entre aquesta variable ambiental i l'evolució econòmica del país i analitzar si és compleixen els seus principis per al cas d'Andorra.

3. Metodologia

La realització d'un inventari nacional de gasos efecte hivernacle és una de les principals obligacions dels països signataris del Conveni marc de les Nacions Unides per la lluita contra el canvi climàtic. En la majoria dels casos, el procediment per a l'assoliment d'aquest inventari es realitza seguint les bases metodològiques estàndards de l'IPCC. No obstant això, aquests estàndards sovint no permeten captar particularitats socioeconòmiques i geogràfiques de cada país, sovint importants en el resultat final dels inventaris. Per tal que aquest inventari sigui realista i acurat, és necessària una adequació de la metodologia a les particularitats de la zona d'aplicació. En el cas d'Andorra, existeixen dos factors amb una incidència significativa que fan que l'adopció directa de les directrius de l'IPCC puguin esbiaixar el comput final de les emissions de gasos efecte hivernacle (GEH), i en especial del CO₂. La primera és el pes específic que té el turisme en l'economia andorrana, un sector sovint identificat com un dels més intensius en emissions de GEH (Hunter and Green, 1995). Aquest turisme, atès que l'únic accés al país és per carretera, porta associat un consum de combustible de locomoció i per tant unes emissions de CO₂ que se li han d'imputar. D'altra banda, l'important diferencial en el preu dels combustibles de locomoció respecte dels països fronterers, fa que una part d'aquest turisme exporti una certa quantitat del combustible total comptabilitzat a escala nacional. El fet que la metodologia de l'IPCC no tingui en consideració aquest moviment transfronterer, ja que en països de major envergadura solen ser residuals, fa que en un país de les dimensions d'Andorra, on el pes d'aquests moviments és molt més important, aquesta metodologia pugui esbiaixar l'inventari nacional de les emissions. El segon factor és l'elevat grau de dependència energètica d'Andorra. Fins a dia d'avui, gran part de l'energia que es consumeix al país s'importa de França i Espanya i només una petita part es produeix al país. En aquest context, i tenint en compte que les directrius de l'IPCC només comptabilitzen l'energia produïda al mateix país i el consum mitjançant combustibles fòssils, aquest factor es presenta també com una potencial font d'esbiaix en el comput d'emissions.

Per tal d'intentar corregir aquestes fonts d'error per al cas d'Andorra, s'ha tingut en consideració, d'una banda, l'efecte del consum de combustibles de locomoció del turisme i de

l'altra la producció al país d'origen de l'energia que s'importa a Andorra. A més a més, a diferència de la metodologia de l'IPCC, en la qual només es comptabilitza la producció energètica amb fonts d'origen fòssil, s'ha cregut convenient incorporar en aquest estudi, i tenir en compte, les emissions derivades del cicle de vida (Life Cycle Assessment, LCA) de les fonts de producció energètica d'origen no fòssil i imputar un factor d'emissió per a cada una d'elles (hidràulica, eòlica, solar, etc). D'aquesta manera, es pretén assolir un càlcul més exhaustiu de les emissions reals de CO₂, en estimar no només aquelles realitzades directament al país, sinó també el deute de carboni incorporat del model socioeconòmic d'Andorra. La raó d'aquestes adaptacions metodològiques és aportar veracitat a unes realitats socioeconòmiques microestats com és el cas d'Andorra.

4. Estimació de les emissions de CO₂ entre 1990-2010

Andorra, des de mitjan segle XX, ha desenvolupat una estructura econòmica basada en el sector serveis, on sobresurten el comerç, les finances i el turisme. Aquestes activitats s'articulen al voltant d'una oferta diversificada, secret bancari i absència d'impostos destacables. Per a l'any 2010 més del 70 per cent de l'activitat econòmica provingué del sector serveis, al voltant d'un 10 per cent s'atribuïa a la construcció, mentre que les activitats industrials només comptaven al voltant d'un 5,2 per cent.⁸ En aquest context, les principals emissions de CO₂ del país s'haurien generat a través del transport, el consum d'electricitat i la construcció. La present recerca estima les emissions derivades d'aquestes tres activitats a partir de la comptabilització del consum aparent.

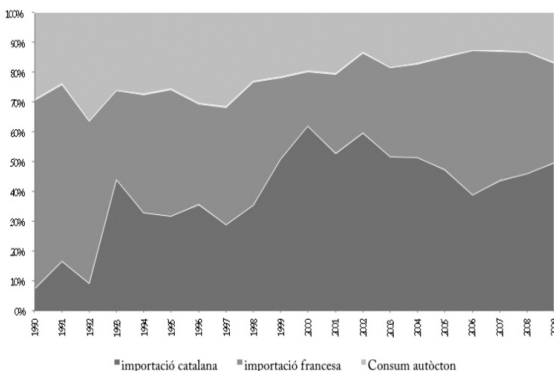
4.1. Emissions derivades del consum d'electricitat

El 1934, Andorra va començar a produir electricitat de manera industrial. El principal destí d'aquesta producció era l'àrea de Barcelona però també el consum autòcton. Andorra va garantir així el seu consum elèctric fins a final de la dècada de 1960. A partir d'aquell moment la demanda elèctrica del Principat va superar la producció nacional i la importació d'electricitat

via Catalunya i França va esdevenir majoritària. A partir de 2006, el Centre de Tractament de Residus d'Andorra de la Comella hi contribueix aproximadament amb un 15 per cent de l'electricitat produïda al país. Per al període 1990-2010 l'origen del consum d'electricitat a Andorra és mostra en el gràfic 1.

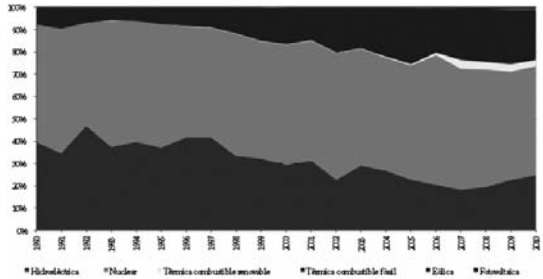
Davant d'aquesta situació, l'electricitat consumida al Principat, majoritàriament produïda fora d'Andorra, crea un deute de CO₂ amb l'exterior en funció de la font utilitzada per a la seva producció. Cal analitzar l'estructura de

Gràfic 1
 Origen de l'electricitat a Andorra entre 1990 i 2010
 Font: Forces Elèctriques d'Andorra



generació elèctrica de Catalunya i França per poder traslladar les proporcions produïdes per cada font d'energia a la importació andorrana per tal de configurar el mix elèctric d'Andorra i comptabilitzar com a andorranes les emissions derivades que genera fora del seu territori.⁹ El gràfic 2 mostra el mix elèctric d'Andorra entre 1990-2010 un cop s'han determinat les proporcions per font d'energia provinents de Catalunya i França. A partir de 2006 també s'ha incorporat la producció d'electricitat del Centre de Tractament de Residus d'Andorra.

Gràfic 2
Evolució del mix elèctric d'Andorra entre 1990 i 2010
Font: Elaboració pròpia



Per poder estimar les emissions de CO₂ derivades del consum elèctric cal imputar al consum per fonts de producció els factors d'emissió relatius de cada font d'energia. En aquest cas s'ha optat per introduir un factor d'emissió LCA que tingui en compte no només les emissions produïdes en el consum sinó també totes aquelles relacionades amb el cicle de vida del producte. La taula 1 mostra els factors d'emissió utilitzats.

4.2. Emissions derivades del consum de combustibles fòssils

Tot i que fins ben entrat el segle XIX Andorra produïa carbó, actualment es necessita importar la totalitat de combustibles fòssils que es consumeix. En aquest estudi únicament s'ha considerat el consum de gasoil, gasolina i fuel domèstic ja que representen més del 99 per cent del total del consum del país. En el gràfic 3 es mostra la importació total de combustibles entre 1990 i 2010.

Entre 1990 i 1995 el nivell d'importacions de gasolina, gasoil i fuel domèstic era similar i amb un lleuger creixement durant el període. A partir de 1995, un canvi significatiu en la configuració del parc automobilístic, en el qual els automòbils dièsel han anat substituint progressivament els de gasolina, ha provocat un canvi important de tendència, que ha portat a una disminució progressiva de les importacions de gasolina i a un fort

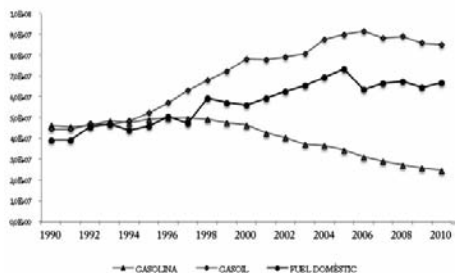
Taula 1
Factors d'emissió LCA¹⁰

Font	gCO ₂ /KWh	Font	gCO ₂ /KWh
Eòlica	10	Nuclear	66
Hidràulica	10	Gas natural	443
Biogàs	11	Dièsel i olis pesats	778
Tèrmica combustible renovable	12	Tèrmica combustible fòssil	592
Biomassa	25	Carbó	1005
Fotovoltaica	32	Tractament tèrmic de residus	1.671,5
Geotermal	38		

Font: Elaboració pròpia

Gràfic 3
Imports de gasolina, gasoil i fuel domèstic entre 1990 i 2010 en litres

Font: Elaboració pròpia a partir de Solsona (2010)

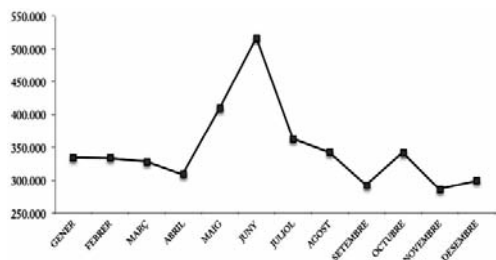


increment de les de gasoil. Durant aquest període les importacions de fuel domèstic es van veure també incrementades fins a final de la dècada dels 2000, en què s'ha observat un període d'estancament juntament amb les importacions de gasoil. D'aquestes importacions, les referents al fuel domèstic van destinades principalment a calderes de calefacció tant d'habitatges com d'edificis públics, administratius i d'hoteleria. D'altra banda, el consum de gasolina i gasoil va destinat als vehicles de locomoció. Tal com s'ha comentat, una de les particularitats d'Andorra és el volum significatiu de turisme respecte de la població autòctona. Amb una població d'aproximadament uns 70.000 habitants, Andorra rep al voltant d'uns set milions de visitants a l'any.¹¹ A més a més, el fet que l'únic mitjà d'accés és amb vehicle rodat, fa que tots els turistes que visiten el país hi arribin amb vehicles motoritzats. Aquesta particularitat té un efecte significatiu en el consum intern de combustibles de locomoció i per tant a l'hora de fer una estimació de les emissions de CO₂ no es pot obviar. Si afegim el factor del diferencial de preu dels combustibles respecte dels països veïns, tenim una nova particularitat que ens està afectant de nou els patrons de consum i per tant l'estimació. Com a conseqüència, una part dels combustibles fòssils importants a Andorra no és consumida pels residents, sinó pels visitants. El diferencial de preus fa que una part del combustible fòssil adquirit pels visitants sigui consumit a l'exterior i no al país, ja que sovint els visitants omplen el dipòsit abans de deixar el país. Així doncs, per poder realitzar una estimació més acurada de les emissions, s'ha adaptat la metodologia per tal de tenir en compte aquestes particularitats. Per tal de segregar el consum dels visitants i dels residents, s'ha considerat el consum del mes de novembre. Entre 1998 i 2010 va ser, de mitjana, el mes amb menys entrada de vehicles al país (gràfic 4). S'assumeix per tant que en aquest mes gairebé la totalitat del consum de combustibles de locomoció és consumit per la població local. D'aquesta manera, i agafant aquest consum com el consum base de la població andorrana, restant-ne la diferència, s'ha obtingut el consum mitjà atribuït als visitants mes a mes. Aquest càlcul, tot i que comporta una infraestimació del consum dels turistes, és, a dia d'avui, i amb les dades disponibles, la metodologia que ens permet fer una aproximació amb el menor error possible.

Un cop segregat el consum autòcton i el consum dels visitants i tenint en consideració que part del consum dels visitants es realitza durant l'estada a Andorra, obtenim que de mitjana un 86 per cent dels combustibles de locomoció que s'importen es consumeixen al país. La resta, el 14 per cent, és novament exportat i es consumeix fora del país. Per tant, aquesta fracció no s'ha de considerar en la comptabilitat de les emissions associades al consum de combustibles fòssils a Andorra.

S'ha aplicat un factor d'emissió de CO₂ per a cada un dels tres tipus de combustible d'origen fòssil consumit a Andorra. Igual com s'ha fet amb el càlcul de les emissions provinents de l'energia elèctrica, per tal de calcular les emissions totals atribuïbles al consum de combustibles fòssils, també s'han utilitzat factors d'emissió que tenen en

Gràfic 4
Mitjana d'entrada mensual de vehicles turismes a Andorra entre 1998 i 2010
Font: Departament d'Estadística del Govern d'Andorra



consideració el cicle de vida de cada una de les tres fonts (taula 2). Davant la dificultat de conèixer la diversitat del parc automobilístic andorrà, no s'ha pogut diferenciar el factor d'emissió per subcategoria de vehicle i per tant s'ha aplicat un factor d'emissió mitjana per a cada tipus de combustible.

Taula 2

Factors d'emissió LCA per als combustibles fòssils¹²

Font	tCO ₂ /TEP
Gasolina	3,19
Gasoil	3,42
Fuel domèstic	3,53

Font: Elaboració pròpia

4.3. Emissions derivades del consum de ciment

El sector de la construcció representava el 2010 un 10 per cent del valor total de l'economia andorrana.¹³ Tenint en compte que la producció de ciment suposa un 5 per cent de les emissions de CO₂ a escala planetària (IPCC 2013), la comptabilització de les emissions derivades d'aquest material resulta significativa per aproximar l'impacte climàtic del sector, especialment davant del gran auge que va experimentar a Andorra entre 1997 i 2007.

Utilitzant un factor d'emissió mitjà (EPA 2003, IPCC 2006) per a les importacions d'aquest material a Andorra entre 1990 i 2010, s'obtenen les emissions de CO₂ derivades del consum de ciment, que aproximen l'impacte climàtic del sector de la construcció andorrà. Els resultats es mostren en l'apartat 5 d'aquest treball.

4.4. Embornals

Un dels elements claus i que juguen un paper crucial en el cicle de carboni són els boscos i les masses vegetals d'un territori. Durant el seu creixement capturen el diòxid de carboni atmosfèric mitjançant la fotosíntesi i l'emmagatzemen en forma de carboni en la seva biomassa. Així mateix, el contingut de carboni del sòl, especialment el de la matèria orgànica, és un dels grans reservoris del planeta. S'estima que el contingut de carboni en els sòls del món és prop de tres vegades superior al contingut en la vegetació (Gallardo i Merino. A., 2007). Els sistemes forestals estan considerats una de les reserves de carboni més grans i potencials embornals.

En aquesta secció es pretén recopilar la informació referent a la capacitat de captació de carboni dels boscos d'Andorra per tal de tenir-la en consideració a l'hora de fer un balanç net de les emissions totals del país. Agafant com a referència el valor proposat per l'IPCC, el qual considera que cada tona de massa de carboni vegetal té una capacitat d'absorció de 3,66 tones de CO₂ s'estima que les zones forestals, matollars i prats d'Andorra són capaços de fixar un total de 26.890.310 tones de CO₂ (CTFC, 2009). A part del carboni fixat per les masses forestals, els boscos en creixement incrementen els reservoris anualment. Anualment, els boscos incorporen una quantitat de carboni a causa de l'augment de la biomassa aèria anual de les masses arbòries. Sense tenir en compte la disminució de les existències de carboni degudes a la pèrdua de biomassa motivada per incendis forestals, aprofitaments, canvis d'ús de la terra ni l'augment anual del carboni acumulat en matollars, pastures i sòl, s'estima que els boscos d'Andorrans fixen 48.419 tones de CO₂ anualment. (No es té en compte la superfície destinada a conreus que pot tenir una contribució significativa.) Ja que durant el període d'estudi no s'han produït canvis importants en els usos del sòl d'Andorra que hagin afectat de forma significativa les masses forestals d'Andorra pel que fa a desforestacions o reforestacions, es pot considerar aquest valor com la capacitat d'absorció anual de CO₂ de la biomassa d'Andorra.

5. Resultats

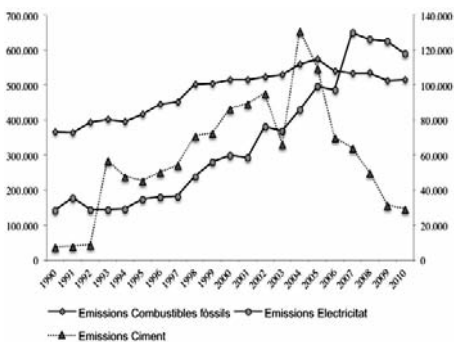
A partir de la metodologia descrita s'han estimat les emissions de CO₂ derivades del consum elèctric, del consum de combustibles fòssils i del consum de ciment entre els anys 1990 i 2010 i que es mostren en el gràfic 5. També s'ha computat la captació anual de CO₂ dels embornals. Des del 1990 les emissions derivades del consum elèctric s'han vist incrementades anualment des de les 28.425 tones equivalents de CO₂ fins a un màxim de 130.169 tCO₂ l'any 2007. Des d'aquell any les emissions han anat disminuint lleugerament fins a les 117.910 tones de l'any 2010. Cal remarcar, tot i que la tendència des del 1990 al 2005 és de creixement, que s'identifica un període d'estancament entre els anys 1993 i 1996, molt probablement com a reflex de la crisi econòmica de 1993. Pel que fa a les emissions derivades dels combustibles fòssils, els valors estimats són significativament més elevats però amb una evolució temporal similar. En aquest cas, partint l'any 1990 d'unes 365.604 tones i assolint un màxim l'any 2005 de 575.157 tones. Igual que en el cas de l'electricitat, també s'observa un petit parèntesi en l'etapa de creixement durant els anys 1993 i 1994, en disminuir lleugerament les emissions durant aquell últim any.

Sumant la contribució d'aquests tres grups, s'obté el còmput estimat total d'emissions del país entre els anys d'estudi. Els resultats obtinguts mostren un creixement continuat des de les 401.351 tones de l'any 1990 fins a un màxim de 784.328 tones l'any 2005. Des d'aquell any, les emissions han anat decreixent lentament fins a les 663.095 tones de l'any 2010 (gràfic 6). Finalment, cal tenir en compte que una part d'aquestes emissions seran absorbides per embornals. Si considerem que la capacitat d'absorció dels boscos, prats, herbassars i matollars d'Andorra és aproximadament d'unes 50.000 tones de CO₂ l'any, s'estima que anualment s'absorbeix de mitjana al voltant d'un 10 per cent de les emissions totals del país.

Gràfic 5

Emissions de CO₂ derivades del consum elèctric, consum de ciment (eix dret) i consum de combustibles fòssils (eix esquerre) entre 1990 i 2010 en tones mètriques de CO₂

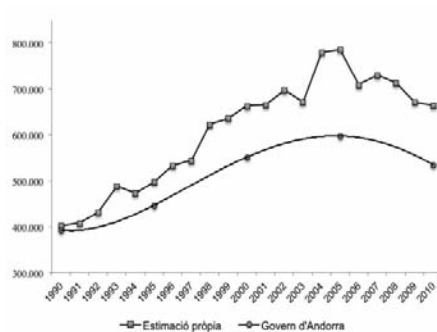
Font: Elaboració pròpia



Gràfic 6

Estimació total de les emissions de CO₂ d'Andorra entre 1990 i 2010 en tones equivalents de CO₂

Font: Elaboració pròpia i dades del Govern d'Andorra



6. Relació de les emissions amb el creixement econòmic

Per últim, s'ha realitzat una primera aproximació a la relació entre les emissions totals anuals i l'activitat econòmica a fi d'entendre el vincle entre aquestes dues variables i comprovar si se

segueix el patró de l'esmentada Corba ambiental de Kuznets. El gràfic 7 mostra la correlació entre els valors anuals de tones de CO₂ emeses i del valor del producte interior brut d'Andorra agregat i per càpita.¹⁴ La figura 7.a vincula les emissions totals amb el producte agregat. S'aprecia que a mesura que creix la renda també ho fan les emissions tot i que a un ritme menor. La figura 7.b mostra una relació en forma d'U invertida si prenem les variables en valors per càpita.

Gràfic 7

Relació entre les emissions de CO₂ i el creixement econòmic andorrà entre 1990 i 2010

Figura 7.a

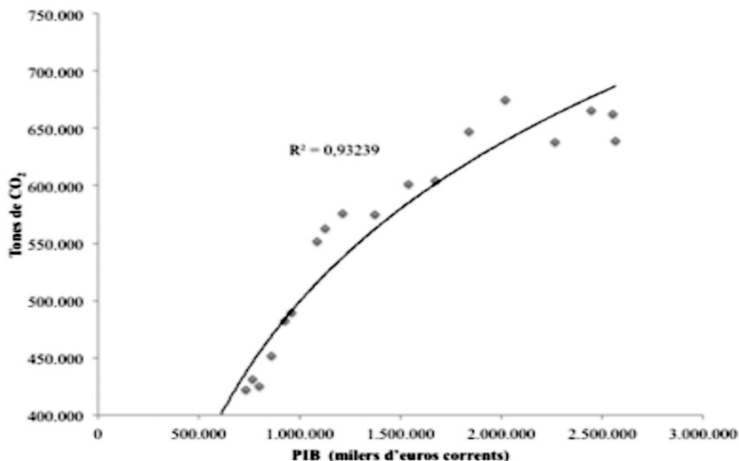
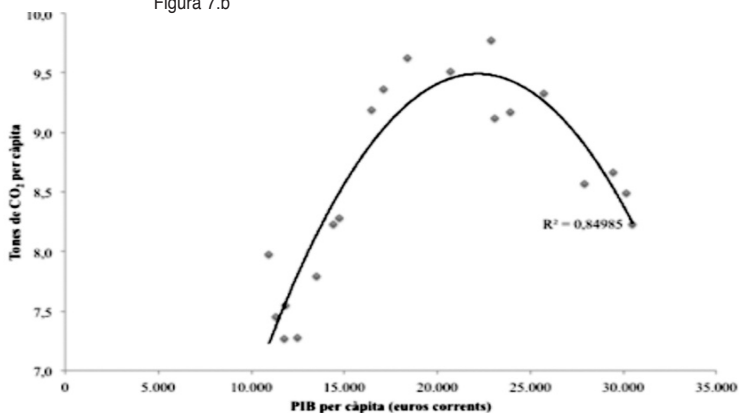


Figura 7.b



Font: Elaboració pròpia

7. Conclusions

L'objectiu principal d'aquest treball era una estimació de les emissions de CO₂ a Andorra des del 1990 al 2010 incorporant dues modificacions metodològiques que permetessin d'una banda caracteritzar la particularitat que representa l'impacte del turisme en la reexportació de combustibles fòssils i, d'altra banda, tenir en consideració tot el cicle de vida a l'hora de computar les emissions de CO₂ associades a l'ús d'una font d'energia en concret. A més, s'ha considerat que el consum de ciment fet al país incorpora un deute de CO₂ associat a la seva producció i transport.

Els valors obtinguts se situen en el mateix ordre de magnitud que les estimacions publicades fins ara [Medi Ambient (2013), Banc Mundial (2007), Rossell i Ferrer (2010) i CAS (2011)] i mostren les mateixes tendències i variacions. No obstant això, a diferència dels resultats obtinguts fins ara, la metodologia proposada permet caracteritzar la variabilitat interanual amb major resolució. D'aquesta manera, mentre que en les sèries publicades fins ara només es detectava una etapa de creixement fins al 2005 i una decreixement en les emissions a partir d'aquell any, amb la metodologia proposada s'obté una variabilitat anual més acurada, captant per exemple les oscil·lacions derivades de la crisi del 1993 o l'impacte de les variacions anuals en el mix energètic andorrà, a causa dels canvis en la proporció de l'origen de l'energia elèctrica importada.

D'altra banda, si comparem els resultats amb la sèrie oficial de Medi Ambient que segueix la metodologia de l'IPCC (gràfic 6), s'observa una diferència poc significativa en els primers anys de la sèrie. Tanmateix, a partir de l'any 1997, la diferència entre les dues sèries es va incrementant de forma gairebé continuada, estimant cada cop valors més elevats que els de la sèrie de Medi Ambient. Aquest fet és degut a la incorporació en la metodologia d'uns factors d'emissió que consideren tot el cicle de vida de la font d'energia, i per tant, consideren que l'ús d'energies com la nuclear, la solar o l'eòlica no són neutres i tenen associades unes emissions durant tot el seu procés. Durant la dècada dels 90, el pes de les energies d'origen no fòssil, exceptuant la nuclear, era residual en el mix energètic tant d'Andorra com dels països dels quals s'importa energia. No obstant això, a partir de final dels noranta, energies com l'eòlica, la solar o la incineració de residus sòlids urbans com a font d'energia, han anat incrementat la seva contribució en el mix energètic. Aquest factor explicaria la diferència entre l'estimació proposada i la de Medi Ambient i demostra la importància creixent que té la incorporació d'aquest criteri en futures estimacions. D'altra banda, la proposta d'incorporar l'especificitat del consum de combustible que es reexporta no es veu significativament reflectida en la diferència entre sèries. Aquest fet, d'una banda, pot ser degut que l'efecte d'aquest factor és menor de l'esperat. D'altra banda, la incorporació de les emissions derivades del consum de ciment, que representen una part significativa del total, neutraliza l'efecte de la disminució per reexportació. A més a més, l'aproximació del sector de la construcció a través del consum de ciment mostra que la seva contribució a les emissions totals és més important que altres activitats com les industrials o les agrícoles i ramaderes. Finalment, la relació entre les emissions de CO₂ i l'activitat econòmica evidencia que si bé per càpita s'observa un patró similar al de la corba ambiental de Kuznets, a escala agregada el creixement econòmic no és capaç de revertir l'impacte ambiental. En el primer cas, la relació seria indicativa d'una pauta de consum més sostenible a mesura que augmenta la renda. No obstant això, a escala global l'estructura de

creixement de l'economia andorrana es mostra de manera inherent vinculada a sectors intensius en emissions (turisme, dependència del transport rodat, construcció, comerç) susceptibles de millores quant a eficiència però amb poca capacitat d'obtenir impactes positius a curt termini, és a dir que els increments de producte interior brut suposin una disminució de les emissions totals.

Referències bibliogràfiques

- [1] Centre Tecnològic Forestal de Catalunya CTFC (2009) *Mitigació del canvi climàtic a través dels boscos d'Andorra*.
- [2] COLE, M. A.; RAYNER, A. J.; BATES, J. M. (1997) "The Environmental Kuznets Curve: An Empirical Analysis". *Environment and Development Economics* 2(4): p. 401–16.
- [3] EKINS, P. (1997) "The Kuznets curve for the environment and economic growth: Examining the evidence". *Environment and Planning*, 29, p. 805–830.
- [4] GALLARDO, J. F.; MERINO, A. (2007) "El ciclo de carbono y la dinámica de los sistemas forestales". *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Bravo F. (ed). Fundació Gas Natural.
- [5] GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. (1991) "Environmental Impact of a North American Free Trade Agreement". *Working Paper 3914*. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- [6] GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. (1995) "Economic Growth and the Environment" *The Quarterly Journal of Economics*. Vol. 110, Núm. 2, p. 353-377.
- [7] HUNTER, C.; GREEN, H. (1995) *Tourism and the Environment. A Sustainable Relationship*. Routledge, Londres.
- [8] Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2006) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2013) "The Physical Science Basis". Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (ed.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
- [10] "Inventari de les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) d'Andorra". Departament de Medi Ambient. Govern d'Andorra. 2013.
- [11] KUZNETS, S. (1955): "Economic growth and income inequality". *The American Economic Review*. Vol. 45, núm. 1. p. 1-28.
- [12] MEADOWS, D. H. et al. (1972) *The limits to growth. A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books, Nova York.
- [13] PANAYOTOU, T. (1993a) "Economic Incentives for Environmental Management in Developing Countries." *OECD Documents: Economic Instruments for Environmental Management in Developing Countries*. Proceedings of a Workshop held at OECD Headquarters, Paris; OECD, 23-29.
- [14] PANAYOTOU, T. (1993b) *Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development*. Working Paper, World Employment Program. International Labour Office, Ginebra.
- [15] PANAYOTOU T. (2003) "Economic Growth and The Environment". Spring Seminar of The United Nations Economic Commission For Europe, Ginebra.
- [16] ROSSELL, M.; FERRER, S. (2010) "Mitigació del canvi climàtic a través dels boscos d'Andorra". CENMA. Andorra.
- [17] SHAFIK, N. (1994) "Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis" *Oxford Economic Papers*, New Series, vol. 46, Special Issue on Environmental Economics, p. 757-773.
- [18] SOLSONA, J. (2010) "Els carburants: consum, reserves estratègiques i preus de venda al públic". *L'energia a Andorra*. Societat Andorrana de Ciències.
- [19] STERN, D. I.; Common, M. S.; Barbier, E. B. (1996) "Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development". *World Development*, 24, p. 1.151–1.160.

Referències bibliogràfiques per estimar els factors d'emissió LCA

- [a] ARRÓN, G. P.; MORTIMER, W. P.; OGRAM, G. L.; YOSHIKI-GRAVELSINS, K. (1991) "Environmental evaluation of coal, oil, natural gas and uranium fuel cycles" *Report No. 91-225-H*.
- [b] DELUCCHI, M. (2003) "Lifecycle Emissions From Transportation Fuels, Motor Vehicles, Transportation Modes, Electricity Use, Heating and Cooking Fuels, and Materials". University of California-Davis, UCD-ITS-RR-03-17, Davis, CA December.
- [c] DONES, R. (2007) "Critical note on the estimation by storm van Leeuwen J.W. and Smith P. of the energy uses and corresponding CO₂ emissions from the complete nuclear energy chain". *Paul Scherrer Institute Policy Report*, April 10, 2007.

- [d] DONES, R., FRISCHKNECHT, R. (1996) "Greenhouse gas emissions inventory for photovoltaic and wind systems in Switzerland. Assessment of greenhouse gas emissions from the full energy chain of solar and wind power and other energy sources. An international Advisory Group Meeting on Assessment of Greenhouse Gas Emission from the Full Energy Chain of Solar and Wind Power", October 21–24, 1996. IAEA Headquarters, Vienna, Austria.
- [e] DONES, R.; HIRSCHBERG, S.; KNOEPFEL, I. (1994) "Greenhouse gas emission inventory based on full chain energy analysis. Comparison of energy sources in terms of their full-energy-chain emission factors of greenhouse gases". Proceedings of an IAEA Advisory Group Meeting/Workshop, Beijing, China, October 7, 1994. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria, pp. 95–114.
- [f] DONES, R.; BAUER, C.; HECK, T. (2003) "LCA of Current Coal, Gas, and Nuclear Electricity Systems and Electricity Mix in the USA". Paul Scherrer Institute, Switzerland.
- [g] DONES, R.; HECK, THOMAS; EMMENEGGER, MIREILLE; FAIST JUNGBLUTH, NIELS (2005) "Lifecycle inventories for the nuclear and natural gas energy systems, and examples of uncertainty analysis". *International Journal of Lifecycle Assessment* 10 (1). p. 10–23.
- [h] FTHENAKIS, VASILIS; ALSEMA, ERIK (2006) "Photovoltaics energy payback times, greenhouse gas emissions, and external costs: 2004–early 2005 status." *Progress in Photovoltaics Research and Applications* 14, p. 275–280.
- [i] GAGNON, LUC; BELANGER, CAMILLE; UCHIYAMA, YOHJI (2002) "Lifecycle assessment of electricity generation options: the status of research in year 2001". *Energy Policy* 30, p. 1267–1278.
- [j] KIVISTO, A. (1995) "Energy payback period and CO₂ emissions in different power generation methods in Finland". Proceedings of the 1995 IAEA Conference, Lappeenranta University.
- [k] Ontario Power Authority, (2005) "Methods to Assess the Impacts of the Natural Environment of Generation Options". OPA, Richmond Hill, Ontario September.
- [l] PEHNT, MARIN (2006) "Dynamic lifecycle assessment of renewable energy technologies". *Renewable Energy* 31, p. 55–71.
- [m] SUNDQVIST, THOMAS; SODERHOLM, PATRIK (2002) "Valuing the environmental impacts of electricity generation: a critical survey". *Journal of Energy Literature* 8 (2), 3 41.
- [n] TAHARA; KOJIMA, K. T.; INABA, A. (1997) "Evaluation of CO₂ payback time of power plants by LCA". *Energy Conversion and Management* 38, p. 615–620.
- [o] VAN DE VATE, JOOP F. (2003) "Full-energy-chain greenhouse gas emissions: a comparison between nuclear power, hydropower, solar power, and wind power". *International Journal of Risk Assessment and Management* 3 (1), p. 59–74.
- [p] World Energy Council (2004) *Comparison of Energy Systems Using Lifecycle Assessment*.
- [q] YOSHIOKA, K.; UCHIYAMA, Y.; KAN, M.; HONDO, H. (1994) "Appreciations of an input–output approach in environmental analysis: estimating CO₂ emissions from thermal and nuclear power generation". *Innovation and Input–Output Techniques* 5 (1), p. 44–58.
- [r] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2006) Working Group II, p. 661.

Notes

- 1- Aquesta recerca s'ha beneficiat de les valuoses aportacions i comentaris del Dr. Èric Jover (OBSA). Volem fer extensiu el nostre agraïment a la Societat Andorrana de Ciències pel seu suport. Qualsevol error és responsabilitat exclusiva dels autors.
- 2- Doctorand en Història Econòmica a la Universitat de Barcelona.
- 3- Investigador postdoc de l'Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra. (OBSA) i el Sustainability Measuring and Modelling lab-UPC.
- 4- Un estat de la qüestió sobre estudis empírics de la CKA pot trobar-se a Stern *et al.*, 1996; Ekins, 1997; Panayotou, 2003. Així, les revistes *Ecological Economics* i *Environment and Development Economics* han dedicat números especials a l'estimació de la CKA.
- 5- "Inventari de les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) d'Andorra". Departament de Medi Ambient. Govern d'Andorra. 2013.
- 6- Per al període 1995-2007 vegeu l'estimació del Banc Mundial per a Andorra. (www.worldbank.org). Per a l'any 2008, Rossell i Ferrer (2010): *Mitigació del canvi climàtic a través dels boscos d'Andorra*, CENMA. Per a l'any 2009 vegeu l'estimació proposada per Andorra Sostenible publicada a *Diari d'Andorra* l'11 de novembre de 2011.
- 7- S'escull el CO₂ ja que representa més del 90 per cent de les emissions equivalents dels gasos d'efecte hivernacle atesa l'estructura terciària de l'economia andorrana.
- 8- Dades del Departament d'Estadística d'Andorra. (www.estadistica.ad)
- 9- S'utilitza el mix elèctric de Catalunya ja que en l'estructura de generació el pes de l'energia nuclear és significativament més gran que en el conjunt de l'Estat espanyol i per tant ens permet obtenir una mostra menys esbiaixada.
- 10- Les fonts utilitzades per als factors d'emissió LCA es troben recollides en l'apartat de referències bibliogràfiques.

- 11- Departament d'Estadística del Principat d'Andorra.
- 12- Les fonts utilitzades per als factors d'emissió LCA es troben recollides en l'apartat de referències bibliogràfiques.
- 13- Departament d'Estadística del Principat d'Andorra.
- 14- Les dades del PIB provenen del Departament d'Estadística del Principat d'Andorra.